Über die Bahnen von Farbstoff- und Salzlösungen in dicotylen Kraut- und Holzgewächsen

von

Erich Tschermak.

Es ist eine allbekannte Thatsache, dass im Stamme der monocotylen Pflanzen die Gefässbündel isolirt verlaufen, während dieselben bei den Dicotylen zu einem soliden Holzkörper vereinigt sind.

Wenn es sich um die Leitung des Wassers und der Salze aus dem Boden durch den Stamm handelt, wird wohl Niemand daran zweifeln, dass bei den Monocotylen die einzelnen isolirten Gefässbündel die Leitung besorgen; wie es sich dagegen bei den dicotylen Bäumen verhält, ist nicht so selbstverständlich, und im Grunde genommen hat bisher eigentlich Niemand diese Frage gestellt oder untersucht. Wohl ist sicher, dass bei der Leitung des Wassers und der Salze wesentlich der Splint, weniger das Kernholz in Frage kommt, dagegen ist noch völlig unbeantwortet, ob im Splint oder in einem einzelnen Jahresring ganz bestimmte Partien — etwa bestimmte Längsstreifen — thätig sind, mögen diese nun nur aus Gefässen oder aus allen Holzelementen bestehen. Auf die Betrachtung dieser Frage, ob es bei Dicotylen trotz ihrer verschmolzenen Gefässbündel doch nur gewisse strangförmige Theile seien, welche leiten, wurde Prof. Kraus hingelenkt durch eine Anfrage von Prof. K. E. F. Schmidt (Halle), welcher bei seinen Untersuchungen über den Lauf der Blitzschläge an Bäumen die Thatsache feststellte, dass die Blitzspuren immer in bestimmten Längsstreifen am Holzkörper herablaufen. Unter

Hinweis darauf, dass in jener Richtung einige verwerthbare Beobachtungen von Sachs[1] und von Theodor Hartig[2] existiren, hat Prof. Kraus im Winter und Frühling 1893 eine Anzahl von Versuchen angestellt, sowohl an abgeschnittenen jungen Zweigen, deren untere Enden verschiedenartig zugespitzt waren, als an jungen Bäumen von Ahorn und Rosskastanien, beziehungsweise an deren Wurzeln oder mittelst Einsetzen von Trichtern in die Stämme. Als Versuchsflüssigkeiten dienten ausschliesslich indigschwefelsaures Natron und Eisenchlorid. Es stellte sich die überraschende Thatsache heraus, dass Farbstoff und Eisenchlorid rasch in einem senkrechten Längsstreifen an dem Stamm emporsteigen und in überliegende Äste eintreten oder in schwachem Bogen um dieselben herumlaufen. Schlüsse wurden aus diesen Versuchen nicht weiter gezogen.

Prof. Schmidt, der diese Versuche kennen lernte, wiederholte dieselben an Waldbäumen und zog daraus Schlüsse für seine Untersuchungen über die Spuren, die der Blitz an getroffenen Bäumen hinterlässt; auch wurden an dieselben Betrachtungen über den Saftverlauf in der Pflanze geknüpft. (Beziehungen zwischen Blitzspur und Saftstrom bei Bäumen. Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Halle, Bd. XIX, S. 83—86, mit einer Tafel und Holzschnitten, 1893.)

Für den Botaniker lag es a priori ferne, aus Versuchen mit Farbstoffen Schlüsse über den Saftlauf zu ziehen, da aus den verschiedensten Versuchen, insbesondere aus denen von Sachs, die Eigenthümlichkeiten von Farbstofflösungen bekannt sind.

Es war aber von grösstem Interesse, dieses von Prof. Schmidt angeregte Problem zu einer brauchbaren Antwort zu führen, und mir wurde von Prof. Kraus die Aufgabe gestellt, in dieser Richtung die Frage zu bearbeiten. Letzterer überliess mir zu diesem Behufe in der liebenswürdigsten Weise eine stattliche Anzahl von Bäumen, wie sie wohl nur ein so alter botanischer Garten, wie der in Halle, für solche Versuche zu bieten vermag.

---

[1] Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, II. Aufl., Leipzig 1887, S. 267.

[2] Bot. Ztg., 1853, Sp. 313.

Versuchsmethode.

Zu den Versuchen wurden einerseits in Wasser gelöste Farbstoffe verwendet, und zwar: indigschwefelsaures Natron, Fuchsin, Safranin, Gentianviolett und Eosin, unter welchen sich das erste als ganz besonders geeignet erwies, anderseits folgende in destillirtem Wasser gelöste Salze: Chlorlithium, Chlorbaryum, salpetersaures Strontium, salpetersaures Calcium, Chlornatrium, endlich Eisenchlorid, unter welchen wieder das Lithiumsalz zu den besten Resultaten verhalf. Bei meinen Versuchen, welche sich nur auf dicotyle Kraut- und Holzgewächse erstreckten, handelte es sich natürlich in erster Linie darum, ganz beschränkte Stellen zu schaffen, von welchen aus die zur Aufnahme gebotenen Lösungen aufgesogen und ihre Wege verfolgt werden konnten. Eng begrenzte, zum Aufsaugen geeignete Stellen an dicotylen älteren Bäumen herzustellen, gelang auf zweierlei Weise. Einerseits wurden die Wurzeln blossgelegt und von diesen eine nicht zu starke, unverzweigte, schön an der Peripherie des Stammes ansitzende gewählt, welche, um bequem in ein mit der Lösung gefülltes Gefäss tauchen zu können, eine Neigung nach abwärts haben musste. Dieselbe liess ich, nachdem sie rein abgewaschen und je nach ihrem Neigungsverhältniss 30—60 *cm* weit vom Ansatz an dem Stamm abgesägt worden war, 10—20 *cm* tief in das mit der betreffenden Lösung gefüllte Gefäss tauchen. Als zweiter Weg, um jenen Zweck zu erreichen, wurde folgender gewählt. In den Stamm ward, wenn derselbe unverzweigt blieb, in einer Höhe von 100—150 *cm* über dem Boden, wenn derselbe sich vergabelte, mehrere Decimeter senkrecht unter einem der Gabeläste ein 5—9 *mm* breites, 2—4 *cm* tiefes Loch gebohrt und in dasselbe ein passender Trichter mit gebogenem Rohr eingeführt. Der Ansatz des Trichters wurde, um ein Ausfliessen der Lösung zu verhindern, ringsherum mit Baumwachs tüchtig verschmiert und hierauf der Trichter gefüllt.

Die jungen Bäumchen, eine grosse Anzahl zwei- bis dreijähriger Eichen, wurden unter möglichster Schonung ihrer zarteren Wurzeln ausgegraben, der Wurzelstock rein abgewaschen und alle Wurzeln bis auf die zum Versuche brauch-

baren knapp am Stämmchen abgeschnitten. Bei einigen Versuchen wurden stärkere Wurzelverzweigungen, bei den meisten aber nur die zarten, dünnen Saugwurzeln verwendet, die, wenn zu lang, einige Centimeter vor ihrer Einmündung in den Stamm abgeschnitten wurden. Die Bäumchen befestigte ich an Stativen mittelst Klemmschrauben in solcher Höhe, dass die Wurzeln in die mit der Lösung gefüllten Reagenzgläser einige Centimeter tief eintauchten, während die Hauptwurzel, einige Centimeter unter den Nebenwurzel-Ansatzstellen abgeschnitten, in ein Gefäss voll Wasser ragte. Diese Anwendung traf ich, um einerseits dem Einwande zu begegnen, die Pflanze hätte die Lösung nur in Ermangelung des Wassers aufgenommen, anderseits um dieselbe länger frisch zu erhalten und so den Versuch tagelang fortsetzen zu können.

Bei Ästen, respective Zweigen gelang es durch Zuspitzen nur von begrenzten Partien des Holzes die Lösungen aufsaugen zu lassen. Ich liess den Ast in einen oder zwei zinkenartige Fortsätze auslaufen, die 2—4 *cm* lang und einige Millimeter breit geschnitzt wurden. Dieselben waren, um nur mit ihrer Basis die Lösungen aufnehmen zu können, mit Ausnahme der letzteren mit Vaselin eingerieben oder mit Wachs überzogen und tauchten 1—2 *cm* tief in die Flüssigkeit ein.

Die Aufsaugungsbahn der Farbstofflösungen war durch blosses Entrinden der Stämme, respective der Äste nachzuweisen. Einige Stunden nach Anstellung der Versuche wurde bei den Bäumen senkrecht ober der Abgangsstelle der Wurzel, bei Ästen senkrecht oberhalb der künstlich hergestellten Zinke, die Rinde in verschiedener Höhe in Klappenform aufgehoben, um zu sehen, ob überhaupt, wie hoch und in welcher Breite der Farbstoff aufgestiegen war. Konnte man denselben in beträchtlicher Höhe wahrnehmen, dann wurde der Stamm, respective der Ast entsprechend dem zum Vorschein kommenden Farbenstreifen entrindet.

Die Bahnen der Salzlösungen wurden in der überwiegenden Mehrzahl der Versuche durch spectroskopische Prüfung des Holzkörpers ermittelt. Zu diesem Zwecke wurden bei Bäumen nach mehrstündiger bis mehrtägiger Versuchsdauer senkrecht über der Wurzeleinmündungsstelle oder senkrecht

über dem Bohrloche kleine, circa 1—2 *cm* hohe und 2—4 *cm* breite Holzstücke herausgestemmt. Ich bestimmte jedesmal genau ihre Breite mit dem aufgelegten Centimetermass und übertrug die gefundene Strecke auf eine Gerade, die auf einem Papierbogen gezogen war. War das Holzstück faserig, so wurde von dessen Aussenfläche, auf einer Seite beginnend, Faser nach Faser abgezogen, war es spröde, Lamelle nach Lamelle durch die ganze Tiefe des Holzstückes abgeschnitten. Die so gewonnenen Theilchen spiesste ich auf eine ausgeglühte Nadel und verbrannte dieselben in der Flamme eines Bunsenbrenners. Das Flammenspectrum wurde mittelst eines Handspectroskopes untersucht. War die aufgesogene Lösung in den in der Flamme veraschten Fasern, respective Lamellen enthalten, so erzeugten die glühenden Metalldämpfe die charakteristischen Linien im Spectrum. Die Ausdehnung, in welcher die Salze in dem ausgestemmten Holzstücke verbreitet waren, ergab sich einfach aus dem Abstand derjenigen Partien, welche die Flammenreaction eben nicht mehr zeigten. Die Lage dieser Grenzpunkte konnte genau bestimmt werden durch den Vergleich der auf Papier verzeichneten ursprünglichen Ausdehnung des Stückes mit der jeweiligen Breite des durch Ablösung von Fasern oder durch Zertheilung in Lamellen noch nicht geprüften Restes. Erwies sich das Holzstück bis an eine oder gar bis an beide Grenzflächen von dem betreffenden Salze durchtränkt, so wurden am Stamme nach der betreffenden, beziehungsweise nach beiden Seiten hin von der durch das Herausstemmen entstandenen Vertiefung aus neue Holzstücke entnommen, in der oben beschriebenen Weise fortschreitend abgefasert oder zerlegt und jedes Theilchen geprüft. Auf diese Weise wurde die Untersuchung fortgesetzt, bis endlich beim Verbrennen einer Holzfaser oder Lamelle die charakteristische Linie im Spectrum nicht mehr erschien. Die Verbreitung des Salzes im Umfange des Stammes wurde nun auf ganz analoge Weise ermittelt wie im vorerwähnten Falle, nämlich aus dem Abstande derjenigen Partien, welche die Flammenreaction eben nicht mehr ergaben. War einmal starke seitliche Verbreitung in einer Holzart nachgewiesen, so konnte man sich jene mühevolle Procedur dadurch etwas erleichtern, dass man dann gleich in weiterer seitlicher Entfernung von

den zuerst herausgestemmten Holzstücken neue entnahm und auf ihren Salzgehalt analysirte.

An stärkeren Ästen löste ich, senkrecht über der zugeschnittenen Spitze beginnend, Faser nach Faser vom Umfang ab und stellte durch deren spectralanalytische Prüfung die Verbreitung der Salze längs des Umfanges des Astes fest.

An Zweigen wurde die Verbreitung der Salze aus der an den Blattstielen vorgenommenen Flammenprobe erschlossen. Zuerst wurden die senkrecht über der künstlich geschaffenen Zinke, welche in die Lösung tauchte, aufsitzenden Blattstiele geprüft, dann fortschreitend die seitlich entfernteren.

In einigen Fällen verwendete ich hingegen Stoffe, deren Verbreitung nicht spectralanalytisch festgestellt wurde, sondern durch chemische Farbenreactionen direct wahrnehmbar war. So benützte ich Eisenchlorid, welches seinen Weg in gerbstoffhaltigem Gewebe durch die eintretende Blau- oder Grünfärbung selbst anzeigt. Wiederholt wurde diese Reaction durch Befeuchten des Stammes mit Ferrocyankalium controlirt. (Verstärkung der bereits durch Eisenchlorid erzeugten Blaufärbung in Folge des Entstehens von Berlinerblau.)

An einer grösseren Zahl von krautigen Pflanzen hatten Vorversuche, in denen dieselben entweder mit der Wurzel oder mit der Stengelschnittfläche in Farbstofflösungen getaucht waren, das Resultat ergeben, dass die letzteren nur in den Gefässbündelsträngen aufsteigen. Es wurden daher zu den weiteren Experimenten zwei Pflanzenarten gewählt, bei denen der Verlauf der Gefässbündel leicht zu verfolgen ist, und die mir in grosser Anzahl zur Verfügung standen, nämlich *Anthriscus silvestris* und *Impatiens Roylei*. Bei der ersteren Pflanze treten die Fibrovasalstränge schon äusserlich als starke Rippen hervor, bei den letzteren sind sie im durchscheinenden Stengel leicht wahrzunehmen.

Bei mit der Wurzel ausgehobenen Exemplaren wurde die Absicht, nur von beschränkten Theilen der Pflanze Lösungen aufsaugen zu lassen, dadurch erreicht, dass nur zarte Wurzeln zum Versuche verwendet wurden, die entweder in die Hauptwurzel oder schon in die Peripherie des Stengels mündeten. Ich befestigte die Pflanzen mittelst Klemmschrauben an Stativen

in solcher Höhe, dass die zum Versuche gewählten Wurzeln in mit Lösung gefüllte Reagenzgläser, die Hauptwurzel oder die anderen Seitenwurzeln in Gefässe mit Wasser tauchten.

An abgeschnittenen Exemplaren liess ich, um die Aufnahme der Lösungen nur von bestimmten Punkten aus zu gestatten, am Stengelende ein oder zwei Fibrovasalstränge isolirt vorragen, während ich alle anderen etwa 2 *cm* darüber abschnitt. Die vorragenden Gefässbündel wurden mit Ausnahme ihrer Basis mit Vaselin eingerieben, um nur von dieser aus die Lösungen aufnehmen zu können, und tauchten etwa 0·5 *cm* tief in die Farbstofflösungen.

Eine andere Methode, Lösungen nur durch beschränkte Partien des Querschnittes aufsteigen zu lassen, bestand in der Unterbrechung einzelner Fibrovasalstränge, während die ganze Stengelbasis in die Lösung tauchte. Die Unterbrechungen der Gefässbündel, welche Dank den erwähnten Eigenschaften der zwei Versuchspflanzen einzeln herausgeschnitten werden konnten, geschahen durch Einkerbungen mittelst eines Scalpells innerhalb eines Internodiums oder im Knoten.

Das Aufsteigen der Farbstofflösungen in den Gefässbündelsträngen war entweder schon äusserlich oder nach Wegschaben der Epidermis leicht zu verfolgen.

Dieselbe Versuchsanordnung kam in Anwendung für das Aufsaugenlassen von Salzlösungen, sowohl durch die Wurzeln, als durch den Stengelquerschnitt (zwei Methoden). Die Bahn derselben wurde wieder durch spectralanalytische Prüfung ausgeschnittener Stengeltheilchen verfolgt. Zunächst wurde ein Stückchen aus der Fortsetzung desjenigen Gefässbündels entnommen, welches nach der ersteren der zwei Versuchsmethoden, die ich bei abgeschnittenen Exemplaren anwendete, allein in die Salzlösung eintauchte. Weiter schnitt ich Partikeln aus dem Stengelwebe zu beiden Seiten dieses Gefässbündels. Bei Benützung der zweiten Versuchsmethode wurden zuerst denjenigen Fibrovasalsträngen Stückchen entnommen, welche durch die Kerbung nicht unterbrochen waren. Hierauf wurde die oberhalb der Unterbrechungsstelle gelegene Stengelpartie geprüft, in welche eine Salzzufuhr seitens der durchziehenden Gefässbündel nicht mehr stattfinden konnte.

Bahn der Farbstofflösungen im dicotylen Holzkörper.

Versuche über die Bahn der Farbstofflösungen im dicotylen Holzkörper wurden in den Monaten Mai bis August an älteren Exemplaren folgender Holzarten im botanischer Garten zu Halle a. S. angestellt:

Acer platanoides (4 Exemplare, 9, 11, 12, 13 *m* hoch).
Populus italica (1).
Sambucus nigra (1).
Betula alba (2).
Quercus imbricaria (1).
Fraxinus excelsior (1).
Syringa vulgaris (4).
Syringa chinensis (3).
Ulmus montana (2).

Acer platanoides. Der Wurzelstock von vier Exemplaren wurde blossgelegt und je eine deutlich an der Peripherie des Stammes ansitzende Wurzel einige Decimeter von ihrem Ursprung durchgesägt und der Stumpf in ein Gefäss mit einer Lösung von indigschwefelsaurem Natron getaucht. Zwei dieser Versuche mögen näher beschrieben werden. Im ersten Falle betrug der Umfang der eintauchenden Wurzel an der Einmündungsstelle in den Stamm 23 *cm*, an der Sägefläche 17·5 *cm*. Nach achtstündiger Versuchsdauer wurde der Stamm senkrecht ober dem Wurzelansatz in verschiedener Höhe entrindet, um zu sehen, ob die Lösung bereits aufgestiegen. Ein schmaler blauer Streif war nach Verlauf dieser Zeit senkrecht über der Wurzeleinmündungsstelle 5 *m* hoch zu verfolgen. Nach 25 Stunden wurde der Versuch unterbrochen, der Stamm längs des blauen Streifens entrindet und nun Messungen vorgenommen. Die Wurzel war knapp vor ihrem Ansatze an dem Stamm fast in ihrem vollen Umfange gefärbt, erst von da ab stieg der Farbstoff in schmalem Streif aufwärts, anfangs in einer Breite von 3·4 *cm*, sich nach 7 *cm* auf 2 *cm* verengend, und verlief nun in dieser Breite bis zu einer Höhe von 3·2 *m*, von da allmälig breiter werdend, bis er in einer Höhe von 4·82 *m*, unterhalb des ersten Seitenastpaares, eine Breite von 3 *cm* erlangte. Die Seitenäste sassen so an, dass ihre Fussstücke in den gebläuten Faser-

verlauf zu stehen kamen, weshalb sich der Farbstoff in beide Äste vertheilte. Im rechten Seitenast konnte er 4 *cm* breit, 70 *cm* hoch verfolgt werden, im linken 7 *cm* breit, 50—60 *cm* hoch. Am Stamme selbst setzte sich der Streif in einer Breite von 3 *cm* fort, bis er in einer Höhe von 5·88 *m* in einen senkrecht ober der Wurzeleinmündung liegenden Ast ablenkte, am Rücken desselben 3·5—3·7 *cm* breit verlaufend. Der Stammumfang betrug nach dem Wurzelansatze 71 *cm*, der Baum war 10 *m* hoch. Ein aus dem Stamme gestemmtes Stück zeigte, dass sich die Blaufärbung nur sehr wenig nach innen, kaum 3 *cm* verbreitet hatte.

Bei einem zweiten Exemplar hatte der 46 Stunden in eine Lösung von indigschwefelsaurem Natron eintauchende Wurzelstumpf einen Umfang von 26 *cm*. Von dem Wurzelansatz stieg ein schmaler, 0·5 *cm* breiter Streif auf, der sich nach 1 *m* zu 0·8 *cm*, nach 2 *m* zu 1 *cm*, nach 2·9 *m*, vor der Gabelung des Stammes in zwei starke Äste, bis zu 1·5 *cm* verbreiterte. Der Streif setzte sich mit derselben Breite im linken Gabelaste fort, bis er, in den 50 *cm* ober der Gabelung abgehenden Seitenast einbiegend, daselbst eine Breite von 2 *cm* annahm. Der Stammumfang betrug nach der Wurzeleinmündung 49 *cm*. Der Versuch wurde noch 14 Tage an dem entrindeten Stamme fortgesetzt, ohne dass eine merkliche Verbreiterung des Streifens erfolgt wäre.

Populus italica. Zwei dünne Wurzeln tauchten in eine Lösung von indigschwefelsaurem Natron. Der nach eintägiger Versuchsdauer entrindete Stamm zeigte keine blauen Streifen, der Querschnitt des abgesägten Stammes wies indess zwei nicht weit von der Stammperipherie gelegene blaue Flecke auf.

Sambucus nigra. Eine schwache Wurzel tauchte zwei Tage lang in eine Lösung von indigschwefelsaurem Natron. Der entrindete Stamm zeigte keine Bläuung, doch wurde nach Abstemmen von etwa 0·5 *cm* dicken Holzstücken ein 0·6 *cm* breiter Streif sichtbar.

Betula alba. Zwei am Stamme gegenüber ansitzende Wurzeln wurden zum Versuche gewählt. Die eine tauchte in ein mit einer Lösung von indigschwefelsaurem Natron gefülltes Gefäss, die andere in ein solches mit Eisenchloridlösung. Nach

30 Stunden wurde der ganze Stamm entrindet. Von der Einmündungsstelle der in den Indigo tauchenden Wurzel, deren Sägefläche einen Umfang von 7 *cm* aufwies, verlief der blaue Streif anfangs 2 *cm* breit, sich rasch auf 1 *cm* verengend, 2·7 *m* hoch, die längs des gefärbten Faserverlaufes entspringenden Zweige färbend. Der Querschnitt durch den Stamm zeigte, dass die Lösung nur 0·5 *cm* tief in den Stamm eingedrungen war. Der Stammumfang betrug knapp über dem Wurzelansatz 25 *cm*. Die Bahn des Eisenchlorides wird erst in dem Abschnitt »Bahn der Salzlösungen im dicotylen Holzkörper« beschrieben werden.

Quercus imbricaria. Der Stamm gabelte sich 3 *m* hoch über dem Boden in zwei starke Äste. 88 *cm* unterhalb der Gabelung wurde senkrecht unter jedem der beiden Äste ein Loch gebohrt, in dasselbe ein Trichter eingesetzt, der eine mit einer Lösung von indigschwefelsaurem Natron, der andere mit Chlorlithiumlösung gefüllt. Die Farbstofflösung wurde langsam aufgesogen, aber doch immerhin rascher als die Lithiumlösung. Der Versuch blieb 12 Tage in Gang, dann wurde der Stamm theilweise entrindet. Der Indigostreif war anfangs 1·2 *cm* breit, verengte sich bald auf 1 *cm* und verlief in dieser Breite bis zur Gabelung. In dem Gabelast setzte er 1·5 *cm* breit fort, bis er 56 *cm* ober der Gabelung in einen Seitenast mit 2 *cm* Breite einbog. Der Umfang des Stammes betrug bei dem Bohrloch 52 *cm*. Die Bahn der Lithiumlösung soll im folgenden Abschnitte besprochen werden.

Fraxinus excelsior. Einige Decimeter unterhalb eines Seitenastes wurde ein Loch gebohrt, ein Trichter eingesetzt und mit einer Lösung von indigschwefelsaurem Natron gefüllt. Dieselbe stieg in schmalem Streif nur in den betreffenden Ast auf.

Syringa vulgaris. Das dünne Ende der in eine Lösung von indigschwefelsaurem Natron tauchenden Wurzel hatte einen Umfang von 4 *cm*. Das betreffende Stämmchen, in welches die Wurzel zu münden schien, wurde nach zwei Tagen theilweise entrindet und zeigte an seinem Umfange, der sich ober dem Wurzelansatz auf 24 *cm* belief, einen 0·9 *cm* breiten blauen Streif, der sich 1 *m* höher auf 0·7 *cm* verengte. Der Versuch blieb dann noch 11 Tage in Gang. Der Streif war nur um einige

Millimeter breiter geworden und bis in die äussersten Astspitzen zu verfolgen.

Syringa vulgaris, Syringa chinensis, Ulmus montana. An mehreren Exemplaren dieser Species wurden Trichterversuche mit einer Lösung von indigschwefelsaurem Natron (Einführung des Trichters in den Stamm an beliebigen Stellen) gemacht, welche alle dasselbe Resultat ergaben: Die Lösung stieg in schmalem Streif mit Rectascension aufwärts. Der Flieder war unter allen Holzgewächsen dasjenige, welches die Lösung von indigschwefelsaurem Natron am raschesten aufsog.

Bei den angeführten Versuchen wurden ausschliesslich Lösungen von indigschwefelsaurem Natron verwendet, weil Vorversuche mit anderen Farbstofflösungen, wie mit wässerigen Lösungen von Gentianviolett und Fuchsin, zwar das gleiche Resultat, aber undeutlich und nach viel längerer Zeit ergeben hatten.

Zur Untersuchung der Bahn der Farbstofflösungen in jungen Bäumen verwendete ich eine grössere Anzahl von 2—3jähriger *Quercus pedunculata.* Von denselben wurden vorerst solche benützt, welche stärkere Wurzelverzweigungen hatten. Eine der dickeren tauchte in eine Lösung von indigschwefelsaurem Natron, während die anderen in ein Gefäss mit Wasser ragten. Nach 1—2 Tagen wurden die Versuche unterbrochen und die Stämmchen entrindet. Die in die Farbstofflösung tauchende Wurzel war anfangs im vollen Umfange gefärbt, von der Einmündungsstelle in den Stamm verlief ein schmaler blauer Streif senkrecht nach aufwärts in einzelne Zweige bis in die Blattrippen und das Adernetz ihrer Blätter, welche dadurch blaugrün erschienen. Der Durchschnitt der im vollen Umfange gefärbten eintauchenden Wurzel zeigte, dass nur die Gefässe und ihre nächste Umgebung vom Farbstoffe gebläut waren, während z. B. die Markstrahlen ungefärbt blieben. Bei der Mehrzahl der Versuche an den jungen Eichen tauchten nur ganz dünne Saugwurzeln in die Farbstofflösung, während der Stumpf der Hauptwurzel in Wasser gesenkt war. Nach 1—3 Tagen wurden die Stämmchen entrindet. Je nachdem sich die Wurzel bereits an der Oberfläche oder erst in bestimmter Tiefe in das Gewebe des Stammes verlor, war

äusserlich ein schmaler Streif wahrnehmbar, oder es trat erst beim Spalten des Stämmchens in der Längsrichtung ein solcher zu Tage. Die mikroskopische Untersuchung eines Querschnittes der Wurzel oder des Stämmchens ergab, dass das indigschwefelsaure Natron nur Gefässe und ihre nächste Umgebung tingirt hatte. Das Mikroskop lehrte ferner, dass die primären Gefässbündel der Saugwurzeln in die secundären des Stammes mündeten, und so dessen Färbung vermittelten. Einige dieser Versuche blieben 10 Tage in Gang. Die Bäumchen waren nach dieser Zeit noch frisch, der Querschnitt zeigte auch hier nur die betreffenden Gefässe, nicht auch das Nachbargewebe gefärbt. Einige mit wässeriger Lösung von Fuchsin und Gentianviolett angestellte Versuche ergaben dasselbe Resultat wie die Experimente mit der Lösung von indigschwefelsaurem Natron.

Zur Untersuchung der Wege, welche die Farbstofflösungen in Zweigen nehmen, die mit ihrem zu ein oder zwei Zinken zugeschnitzten Ende in die Lösungen tauchten, wählte ich solche von *Quercus pedunculata* und *Syringa vulgaris*. Letztere eignen sich wegen ihrer zumeist regelmässig dichotomen Verzweigungen, wie die folgenden Versuche lehren, ganz besonders dazu die Rectascension der Farbstofflösungen in schmalen Streifen zu veranschaulichen.

Quercus pedunculata. Das zugekerbte 3—4 *cm* lange, mit Ausnahme der Basis mit Baumwachs verschmierte Ende tauchte 1—2 Tage in eine Lösung von indigschwefelsaurem Natron. Der entrindete Zweig zeigte einen blauen Streif, der sich in der Breite des eintauchenden Zinkenendes bis in die äusserste Spitze verfolgen liess und die Adern sämmtlicher Blätter, deren Stiele an dem betreffenden Faserverlauf ansassen, färbte.

Syringa vulgaris. Die Zweige liess ich 10—20 *cm* unter der Gabelung in eine oder zwei schmale Zinken auslaufen, die gerade unterhalb der Gabeläste zu stehen kamen. Bei diesen Versuchen wurden alle bei der Besprechung der Versuchsmethode angeführten Farbstofflösungen angewendet. Die 2 *cm* langen und einige Millimeter breiten Zinken tauchten mit ihrer wachsfreien Endfläche circa 0·5 *cm* in die Farbstoff-

lösungen. Wurde der Versuch bereits nach einigen Stunden unterbrochen, oder blieb er Tage lang in Gang, immer zeigte der entrindete Zweig einen schmalen Streif, der höchstens 2—3 *mm* breiter als die Zinken war und am Rücken des einen Gabelastes verlief. Bei weiterer Vergabelung stieg der Streif in den Zweig auf, dessen Fussstück in den gefärbten Faserverlauf zu stehen kam. Um die verschiedene Aufstiegsgeschwindigkeit der einzelnen Farbstofflösungen ungefähr zu bestimmen, schlug ich folgendes Verfahren ein. Ich wählte möglichst gleich stark gewachsene Fliederzweige, die sich regelmässig dichotom vergabelten, und schnitt 6 *cm* unter der Gabelung eine 3 *cm* lange und 2 *mm* breite Zinke zu, welche je 1 *cm* tief in die Farbstofflösungen tauchte. Derselbe Versuch wurde zweimal angestellt und blieb das erstemal 17, das zweitemal 19 Stunden in Gang. In beiden Fällen war das indigschwefelsaure Natron am höchsten gestiegen, dann folgten mit abnehmender Aufstiegsgeschwindigkeit Fuchsin, Gentianviolett, Safranin und Eosin. Während nach 17 Stunden das indigschwefelsaure Natron bis in die äusserste Spitze des 35 *cm* langen Gabelastes gestiegen war, konnte Fuchsin bis zu einer Höhe von 16 *cm*, Gentianviolett 9 *cm*, Safranin 6 *cm*, Eosin nur 5 *cm* hoch verfolgt werden. Bei dem zweiten Versuch war die Reihenfolge der Aufsaugungsgeschwindigkeiten dieselbe.

Bahn der Salzlösungen im dicotylen Holzkörper.

In derselben Zeitperiode, in welcher die Versuche mit Farbstofflösungen an Holzgewächsen angestellt wurden, verfolgte ich die Bahnen der Salzlösungen im dicotylen Holzkörper an älteren Exemplaren folgender Holzarten des botanischen Gartens.

Acer platanoides (4).
Syringa vulgaris (6).
Quercus imbricaria (1).
Quercus pedunculata (3).
Fraxinus excelsior (1).
Ulmus montana (3).

Betula alba (4).
Pinus silvestris (1).
Tsuga canadensis (1).

Acer platanoides. In einem Falle hatte der in die Lithiumlösung tauchende Wurzelstumpf einen Umfang von 30 *cm*. Nach 80 Stunden wurde der Versuch unterbrochen, senkrecht oberhalb des Wurzelansatzes in verschiedener Höhe Holzstücke herausgestemmt und nach der beschriebenen Methode mittelst des Spectroskopes auf ihren Salzgehalt geprüft. Das Lithium war in schmalem, 3·5 *cm* breiten Streif, 1·5 *m* hoch gestiegen. Der Stammumfang betrug an dieser Stelle 45 *cm*. Von hier nahm der Streif allmählich an Breite zu, bis er 1·6 *m* höher, unter der Gabelung des Stammes in 2 starke Seitenäste, zu 4·8 *cm* anwuchs. Der Stamm war hier 42 *cm* breit. Der Streif setzte sich in denjenigen Gabelast, welcher senkrecht über der eintauchenden Wurzel abgieng, in einer Breite von 5 *cm* fort. 1 *m* über der Gabelung gab dieser Ast 2 Seitenäste ab. Der linke zeigte in seinem ganzen Umfange (13·5 *cm*) Lithium, in den rechten, der einen Umfang von 11·5 *cm* aufwies, war das Salz in einer Breite von 2·9 *cm* aufgestiegen. An zwei weiteren Exemplaren wurden in den Stamm Trichter eingesetzt und mit Chlorlithiumlösung gefüllt. Dieselbe wurde nur sehr langsam aufgesogen. Auch hier stieg das Lithium anfangs in schmalem Streif auf, begann sich aber allmählich am Stammumfang zu verbreiten, bis endlich in dem einen Falle nach 7, im anderen nach 10 Tagen an der ganzen Stammesperipherie sowohl knapp über dem Bohrloche, wie auch 2 *m* höher Lithium nachgewiesen werden konnte. Bei einem weiteren Exemplare wurde der in den Stamm eingesetzte Trichter mit einer Chlorbaryumlösung gefüllt, von welcher auch nach mehreren Tagen nur sehr wenig aufgesogen worden war. Die Bahn des Baryums konnte nur einige *cm* weit als schmaler Streif verfolgt werden.

Syringa vulgaris. Ein in 2 Gabeläste auslaufender Fliederstamm wurde 20 *cm* unterhalb der Gabelung senkrecht unter dem einen Gabelast angebohrt. In das Bohrloch setzte ich einen Trichter ein und füllte denselben mit Chlorlithiumlösung. Nach 18 stündiger Versuchsdauer begann ich die Gabeläste auf Lithium zu untersuchen. Auch hier war es in schmalem

Streif nur in dem einen derselben aufgestiegen und unterhalb der Gabelung, sowie im Gabelast in einer Breite von 1·8 *cm* nachzuweisen. Der Umfang des Astes betrug 9 *cm*.

Eine dünne, an der Peripherie des Stammes ansitzende Wurzel eines baumartigen Fliederstrauches, dessen starker Stamm sich bald in viele Äste vergabelte, tauchte 34 Stunden in Chlorlithiumlösung. Nach Verlauf dieser Zeit war das Lithium am ganzen Stammumfang, sowie in sämmtlichen Ästen nachzuweisen.

In einige Stämmchen wurden Trichter eingesetzt und mit Eisenchloridlösung gefüllt. Die Flüssigkeit wurde sehr langsam aufgesogen. Die nach 4—6 Tagen entrindeten Stämmchen zeigten nur einen schmalen blauen Streif (Gerbstoffreaction), der durch Befeuchten mit einer Lösung von gelbem Blutlaugensalz in Folge der eintretenden Berlinerblaureaction deutlicher gemacht wurde. — In zwei Fällen wurden die in den Stamm eingesetzten Trichter mit einer Lösung von essigsaurem Uran gefüllt. Die nach zwei Tagen entrindeten Stämmchen wurden mit Ferrocyankalium benetzt, worauf ein 2—3 *cm* breiter, brauner Streif erschien, der sich bald verengte (Ferrocyanuran).

Quercus imbricaria. In den Stamm wurden 88 *cm* unterhalb seiner Vergabelung in zwei starke Äste senkrecht unter jedem derselben Trichter eingesetzt, der eine mit einer Lösung von indigschwefelsaurem Natron (vergl. oben), der andere mit Chlorlithiumlösung gefüllt. Nach 12 Tagen wurde der Versuch unterbrochen. Es war nur wenig von der Salzlösung aufgesogen worden. Die spectralanalytische Untersuchung ergab eine anfängliche Verbreitung des Lithiums von 3·8 *cm* bei einem Stammumfang von 52 *cm*. Dieselbe nahm bis zur Vergabelung bis 5·6 *cm* zu. Im Gabelast betrug die Verbreitung 4 *cm*.

Quercus pedunculata. In den Stamm eines jüngeren Baumes wurde ein Trichter eingesetzt und mit Chlorlithiumlösung gefüllt. Der Stammumfang betrug beim Bohrloche 11 *cm*. Nach sechs Tagen wurde damit begonnen, Holzstückchen aus dem Stamme zu schlagen, um dieselben auf ihren Salzgehalt zu prüfen. Das Lithium war nach Verlauf dieser Zeit in 3 *cm* breitem Streif senkrecht aufgestiegen. Nach 14 Tagen konnte indess am ganzen Stammumfang Lithium nachgewiesen werden.

Bei einem anderen Exemplare tauchte eine kräftige, an der Peripherie des Stammes ansitzende Wurzel mit ihrem abgesägten Ende (Umfang 18 *cm*) 63 Stunden in Eisenchloridlösung. Der entrindete Stamm zeigte einen blaugrauen Streif (Gerbstoffreaction), der über 4 *m* hoch zu verfolgen war. Derselbe hatte anfangs eine Breite von 5 *cm* bei einem Stammumfang von 70 *cm*; nach 1 *m* verengte er sich auf 3·4 *cm*, nach 3 *m* auf 1·8 *cm*, nach 4 *m* war er nur mehr einige Millimeter breit. Das nachträgliche Tingiren mit einer Lösung von gelbem Blutlaugensalz machte in Folge der eintretenden Berlinerblaureaction den Streif noch deutlicher sichtbar, auch wurde er um einige Millimeter breiter. Nach innen war die Reaction nur einige Millimeter tief zu verfolgen.

Fraxinus excelsior. Einige Centimeter unter den Fusspunkten von vier Ästen wurden Löcher gebohrt, in dieselben Trichter eingesetzt und der Reihe nach mit Lösungen von indigschwefelsaurem Natron (vergl. oben), Chlorlithium, salpetersaurem Strontium und Chlorbaryum gefüllt. Nach zwei Tagen war das Chlorlithium in 4 *cm* breitem Streif nur in dem betreffenden Aste nachzuweisen. Nach vier Tagen jedoch hatte sich das Lithium nicht nur in dem ganzen Ast, unter welchen der Trichter angebracht war, verbreitet, sondern auch über den ganzen Umfang des Stammes, welcher an der Stelle, wo der Ast ansass, 56 *cm* betrug. Die Bahn des Chlorbaryums, sowie des salpetersauren Strontiums konnte auch nach mehreren Tagen nur einige Centimeter weit als schmaler Streif verfolgt werden.

Ulmus montana. 1 *m* über dem Boden wurde in den Stamm eines Exemplares ein Trichter eingesetzt, welcher gerade unterhalb eines starken Gabelastes zu stehen kam. Zur Füllung wurde Chlorlithium verwendet. Der Stammumfang betrug in der Höhe des Bohrloches 68 *cm*. Ich begann mit der spectralanalytischen Untersuchung bereits nach 8 Stunden, weil die Lösung auffallend rasch aufgesogen wurde. Ich konnte auf der Vorder- und Rückseite des starken Gabelastes, sowie in allen Verzweigungen Lithium nachweisen. Vermuthlich hatte sich das Lithium auch schon in dem anderen Gabelast verbreitet, doch konnte die Untersuchung der hereinbrechenden Nacht wegen

erst am folgenden Morgen fortgesetzt werden. Sie ergab nun vollständige Verbreitung des Lithiums im ganzen Umfange des Baumes; auch 80 *cm* unter dem Bohrloche konnte an der ganzen Peripherie Lithium nachgewiesen werden.

Bei einem anderen Exemplare tauchte eine Wurzel, deren Sägefläche einen Umfang von 10 *cm* aufwies, 42 Stunden in Chlorlithiumlösung, und schon zeigte sich der Stamm, von welchem Holzstücke bis zu einer Höhe von 2 *m* behufs spectralanalytischer Untersuchung herausgestemmt wurden, in seinem ganzen Umfang von Lithium durchtränkt.

Bei einem dritten Exemplare wurde der in den Stamm eingesetzte Trichter mit Chlorbaryumlösung gefüllt. Obgleich dieselbe rasch aufgesogen und der Trichter wiederholt gefüllt wurde, gelang es mir nicht, in den herausgeschlagenen Holzstücken Baryum nachzuweisen.

Betula alba. In mehrere Stämme wurden Trichter eingesetzt und mit Chlorlithiumlösung gefüllt. Nach 4—5 Tagen enthielt die dem Bohrloche gegenüberliegende Seite des Baumes Lithium.

Die dünne Wurzel eines anderen Exemplares musste sieben Tage lang in Chlorlithiumlösung belassen werden, bis sich dasselbe im ganzen Stamme (Umfang ober dem Wurzelansatze 50 *cm*) verbreitet hatte.

Oben wurde ein Versuch bereits erwähnt, bei welchem die eine von zwei am Stamm gegenüber ansitzenden Wurzeln in eine Lösung von indigschwefelsaurem Natron, die andere in Eisenchloridlösung tauchte. Der nach 30 Stunden entrindete Stamm zeigte auf der einen Seite den Indigostreif (vergl. oben), auf der anderen ein blaugraues, 2 *cm* breites Band (Gerbstoffreaction), das sich bald auf 1 *cm* verengte und nur 1·5 *m* hoch zu verfolgen war. Durch Tingiren mit Ferrocyankalium wurde der Streif in Folge der Berlinerblaureaction deutlicher und etwas breiter. In der Höhe von 1·76 *m* zeigten indess einige Aststumpfe, welche 4—5 *cm* seitlich von der senkrechten Fortsetzung des 26 *cm* tiefer endigenden Streifens ansassen, auf ihren Sägeflächen deutliche Gerbstoffreaction. Es war demnach auch hier eine beträchtliche seitliche Verbreitung des Salzes eingetreten.

An mehreren Exemplaren wurden in die Stämme Trichter eingesetzt und mit Eisenchloridlösung gefüllt. Nach drei- bis fünftägiger Versuchsdauer entrindete ich den Stamm. Stets war ein 3—5 *cm* breiter Streif einige Meter hoch zu verfolgen. Der Querschnitt des Stammes zeigte nur 1—2 *cm* tief die Gerbstoffreaction.

Pinus silvestris. Eine 66 *cm* lange Wurzel tauchte mit ihrem abgesägten Ende (Umfang 16 *cm*) in Chlorlithiumlösung. Nach zwei Tagen ergab die Untersuchung, dass die Lösung in schmalem, 3—4 *cm* breiten Streif aufgestiegen war. Nach fünf Tagen war die Stammperipherie von Lithium imprägnirt. Der Stammumfang betrug oberhalb des Wurzelansatzes 77 *cm*.

Tsuga canadensis. Ein Trichter wurde 1·5 *m* über dem Boden in den Stamm, der an dieser Stelle einen Umfang von 40 *cm* hatte, eingesetzt und mit Chlorlithiumlösung gefüllt. Das Aufsaugen ging sehr rasch vor sich, wesshalb bereits nach 9 Stunden mit der Untersuchung begonnen, der Versuch aber noch in Gang belassen wurde. Ich konnte nach Verlauf dieser Zeit bereits eine starke seitliche Verbreitung des Lithium nachweisen. Nach 24 Stunden hatte sich das Lithium im ganzen Stamm verbreitet. Holzstücke, welche 3 *m* über dem Bohrloch, und zwar auf der demselben gegenüberliegenden Seite herausgeschlagen und untersucht wurden, waren bereits vom Lithium durchtränkt.

Zur Verfolgung der Bahn der Salzlösungen in jungen Bäumchen verwendete ich wieder die 2—3jährigen Stieleichen. Bei den meisten dieser Versuche liess ich nur ganz schwache Saugwürzelchen in die betreffenden Salzlösungen tauchen. Ragte eine der Wurzeln in Chlorlithiumlösung, so war bereits nach einigen Stunden starke seitliche Verbreitung des Lithiums im Stämmchen nachzuweisen, nach einem Tag hatte es sich meist schon über den ganzen Umfang verbreitet. Auch Lösungen von Chlorbaryum und salpetersaurem Strontium wurden einzelnen Saugwurzeln zur Aufnahme geboten. Baryum konnte ich nach 1—2 Tagen, Strontium erst nach 3—5 Tagen längs der Peripherie des Stämmchens nachweisen. Eisenchlorid stieg selbst nach zehntägiger Versuchsdauer nur in schmalem Streif auf. Tauchte indess eine stärkere Wurzelverzweigung in die

Lösung, so war nach drei Tagen fast am ganzen Umfang des Stämmchens Gerbstoffreaction eingetreten.

Zur Verfolgung der Bahn der Salzlösungen in Zweigen, die nur mit ihrem zugespitzten Ende in die Lösungen tauchten, benützte ich solche von *Quercus pedunculata*, *Ulmus montana*, *Fraxinus excelsior* und *Syringa vulgaris*. Letztere eigneten sich, wie die folgenden Versuche lehren, ganz besonders dazu, die allmälig seitliche Verbreitung der Salzlösungen im Holzkörper zu verfolgen.

Quercus pedunculata. Das zinkenartig zugeschnitzte, mit Ausnahme der Basis mit Baumwachs verschmierte Zweigende tauchte in eine Lösung von Chlorlithium, salpetersaurem Strontium, Chlorbaryum und Eisenchlorid. Das Lithium war nach einem Tage, nach 2—3 Tagen auch Baryum und Strontium, längs des ganzen Zweigumfanges nachzuweisen. Eisenchlorid schoss in schmalem Streif senkrecht aufwärts, doch trat auch hier nach 2—3 Tagen am ganzen Umfang Gerbstoffreaction ein.

Ulmus montana, Fraxinus excelsior. Stärkere Zweige, in gleicher Weise wie dies bei *Quercus pedunculata* erwähnt, zugerichtet und in Chlorlithiumlösung tauchend, zeigten nach 1—2 Tagen starke seitliche Verbreitung der Salzlösung.

Syringa vulgaris. Die Versuche wurden nur mit regelmässig dichotom sich vergabelnden Zweigen angestellt, deren Ende ich 10—20 *cm* unter ihrer Gabelung in eine Zinke auslaufen und 0·5 *cm* tief in Lösungen von Chlorlithium, Chlorbaryum, salpetersaurem Strontium, salpetersaurem Calcium, Chlornatrium und Eisenchlorid, tauchen liess. Der Nachweis der vier erstgenannten Salze geschah wieder auf spectralanalytischem Wege, die Anwesenheit des Eisenchlorids wurde durch Tingiren mit einer Lösung von gelbem Blutlaugensalz constatirt. Die Prüfung auf Na geschah durch Flammenreaction. Da das Holz und die Blätter des Flieders in Folge ihres starken Kaligehaltes in der Flamme des Bunsenbrenners verbrannt Violettfärbung erzeugen, konnte beim Gelbwerden der Flamme auf den Natriumgehalt dieser Pflanzentheile geschlossen werden. In allen Fällen fand auch hier vorerst ein rasches, senkrechtes Aufsteigen der Lösungen in schmalem Streif statt, dann verbreiteten sich die verschiedenen Salze mit verschiedener

Geschwindigkeit zuerst auf der Rückenseite, dann auf der Innenseite desjenigen Gabelastes, welcher senkrecht über der eintauchenden Zinke abging; später konnten dieselben auch auf der Innenseite des gegenüberstehenden Gabelastes, endlich auch auf dessen Aussenseite nachgewiesen werden.

Als Beispiele dieser allmäligen Verbreitung der Salze seien folgende angeführt. In einem Falle war nach 23stündiger Versuchsdauer Strontium an der Aussenseite desjenigen Gabelastes, der senkrecht über der eintauchenden Zinke stand, bis zu einer Höhe von 16 *cm* über der Gabelung nachweisbar, während es an der Innenseite nur 9 *cm* hoch gestiegen war und im gegenüberstehenden Gabelaste fehlte. In einem anderen Falle war nach 20 Stunden die Baryumlösung an der Aussenseite des ersten Gabelastes 32 *cm*, an der Innenseite 25 *cm*, an der Innenseite des anderen Gabelastes 15 *cm*, an dessen Aussenseite 9 *cm* hoch gestiegen. Um wenigstens annähernd einen Begriff von der verschiedenen Aufsaugungsgeschwindigkeit der einzelnen Salzlösungen zu bekommen, wurde ganz dieselbe Methode wie beim Vergleich der Aufstiegsgeschwindigkeit der einzelnen Farbstofflösungen angewendet. Am raschesten verbreiteten sich Natrium, Lithium, Calcium und Baryum, weniger rasch Eisenchlorid, am langsamsten Strontium.

Bahn der Farbstofflösungen in dicotylen krautigen Pflanzen.

In dem Abschnitt über die Versuchsmethoden wurden bereits die Gründe dargelegt, welche mich veranlassten, bei der Aufgabe, die Wege der Farbstoff- und Salzlösungen in krautigen Pflanzen zu studiren, mit den zwei Pflanzenarten *Anthriscus silvestris* und *Impatiens Roylei* zu operiren.

Anthriscus silvestris. Bei den mit der Wurzel ausgehobenen Exemplaren tauchte die unverzweigte Pfahlwurzel einige Centimeter tief in eine Lösung von indigschwefelsaurem Natron. Die rasch aufgesogene Flüssigkeit hatte nach eintägiger Versuchsdauer anfangs den ganzen axilen Strang der Wurzel gefärbt, im weiteren Verlaufe blieben aber die aus den nicht mehr eintauchenden Nebenwurzeln eingetretenen Fibrovasalstränge ungefärbt, wesshalb auch beim Übergang der Wurzel in den Stengel nicht alle Gefässbündelstränge gebläut

erschienen. Bei längerem Belassen der Wurzel in der Lösung (50—60 Stunden) zeigte sich indess in den meisten Fällen der ganze Gefässbündelkreis gefärbt.

Um nun wieder die Verbreitung der Farbstofflösungen im Pflanzenkörper zu studiren, wenn dieselben bloss einzelnen begrenzten Partien der Pflanze zum Aufsaugen geboten werden, wählte ich einmal Exemplare mit gabelig verzweigter Hauptwurzel und liess einen dieser Wurzeläste in die Lösung, den anderen in Wasser tauchen. Oder ich wählte Exemplare mit unverzweigter Hauptwurzel und tauchte dann bloss eine kleine, aus der Hauptwurzel entspringende Saugwurzel in die Indigolösung, während der Stumpf der ersteren in Wasser ragte. In beiden Fällen zeigten sich, ob nun der Versuch bloss einen Tag oder mehrere Tage in Gang blieb, nur die aus den betreffenden Wurzeln in den axilen Strang der Hauptwurzel sich einreihenden Fibrovasalstränge gebläut, während der andere Theil des axilen Stranges ungefärbt blieb. Im Stengel waren dann stets nur die senkrecht über der Wurzeleinmündungsstelle verlaufenden Gefässbündelstränge gefärbt.

Bei abgeschnittenen Exemplaren wendete ich, wie schon bei der Besprechung der Versuchsmethode erwähnt, zwei Verfahren an, um die Aufnahme der Lösungen nur von begrenzten Stengelpartien zu erzielen. Den Pflanzen wurden folgende Farbstoffe, in Wasser gelöst, zum Aufsaugen geboten: indigschwefelsaures Natron, Fuchsin, Safranin und Gentianviolett. Bei den Versuchen nach der ersten Methode waren die Lösungen, wenn nach einigen Stunden der Versuch unterbrochen wurde, nur in den in die Flüssigkeit vorragenden ein oder zwei Gefässbündelsträngen aufgestiegen, von einer Verbreitung in das Nachbargewebe war nichts zu bemerken. Blieben indess die Pflanzen über einen Tag in den Lösungen stehen, so zeigten sich auch die meisten benachbarten Gefässbündel des ersten sowie die Mehrzahl des folgenden Internodium gefärbt. Wurde indessen der in die Farbstofflösung tauchende Fibrovasalstrang durch eine Einkerbung im ersten Internodium oder durch einen im Knoten ausgeführten Ausschnitt unterbrochen, so stieg die Farbstofflösung nur in diesem Gefässbündelstrang bis zur Unterbrechungsstelle aufwärts, die Nachbarstränge

blieben dann auch nach mehrtägiger Versuchsdauer ungefärbt. Damit war die Annahme einer Färbung derselben im ersteren Falle durch Diffusion im Gewebe ausgeschlossen, ihre Färbung musste daher durch einen directen Zusammenhang mit den eintauchenden Gefässbündelsträngen erfolgt sein. Dieser Vorgang erklärte sich leicht, als durch Blosslegen der Gefässbündel im Knoten durch vorsichtiges Abschaben der Epidermis die gürtelförmige Verbindung der meisten, in manchen Fällen auch aller Gefässbündel untereinander constatirt wurde, wodurch einerseits die Farbstofflösung, wenn auch nur von einem Fibrovasalstrang in den Knoten geleitet, in alle Stränge des zweiten Internodium aufsteigen konnte, andererseits der Rücklauf in die Gefässbündel des ersten Internodium ermöglicht war. Bei rechtzeitiger Entnahme der Pflanzen aus der Lösung konnte auch der Rücklauf in die benachbarten Gefässbündelstränge in verschieden vorgeschrittenen Stadien beobachtet werden. Derselbe erstreckte sich nur in manchen Fällen auf sämmtliche Gefässbündel des Stengelumfanges, meistens blieb er in einem oder in einigen wenigen aus, je nachdem die Blattspur der schraubenständigen Blätter den ganzen Stengelumfang einnahm oder kleiner als derselbe war. Die gürtelförmige Verbindung der Gefässbündelstränge findet nämlich bei *Anthriscus silvestris* nur unter denjenigen Gefässbündeln statt, welche an der Blattspur Zweige in die Blattscheide entsenden. Die anderen, an der Gefässbündelversorgung des Blattes unbetheiligten Fibrovasalstränge — meist ist es nur einer — verlaufen isolirt durch zwei Internodien. Tauchte demnach nur ein solcher isolirt verlaufender Strang in die Farbstofflösung, dann blieben alle anderen Gefässbündel des ersten und des zweiten Internodium ungefärbt. Infolge der schraubenständigen Anordnung der Blätter ist allerdings vom zweiten Knoten herab Rücklauf in die bisher ungefärbten Fibrovasalstränge ermöglicht, und es konnte auch der Beginn desselben bei einzelnen Exemplaren nachgewiesen werden, die meisten waren jedoch, da dieses Resultat erst nach drei Tagen eintrat, zu welk geworden und sogen daher nicht mehr.

Nach der zweiten Methode wurden folgende Versuche angestellt. Innerhalb eines Internodium des Stengels machte

ich vorerst in verschiedenen Höhen verschieden grosse Einkerbungen. Bei den so präparirten Pflanzen stieg die Lösung nur in den Gefässbündeln, die nicht durch eine Einkerbung durchschnitten waren, bis in den Knoten auf, die Fortsetzung der durch einen Einschnitt unterbrochenen Fibrovasalstränge zeigte sich, wenn die Pflanze nach einigen Stunden der Lösung entnommen war, ungefärbt. Nach längerem Stehen in der Lösung trat auch hier in Folge des Anastomosirens der Gefässbündel im Knoten Rücklauf der Lösung in die durch die Einkerbung abgetrennten Gefässbündelstrecken (vom Knoten herab) ein. Unterbrach ich durch zwei in einem Internodium einige Centimeter übereinander ausgeführte Einkerbungen dieselben Gefässbündelstränge, so stieg die Farbstofflösung nur in den unversehrten bis zum Knoten auf, in den unterbrochenen nur bis zur ersten Einkerbung. Ungefärbt blieben demnach das zwischen beiden Einkerbungen liegende Stengelstück und zunächst auch die Gefässbündelstrecken oberhalb der zweiten Einkerbung. Bei längerem Stehen in der Lösung wurden die letzteren durch Rücklauf gefärbt, die zwischen beiden Einkerbungen liegenden Gefässbündelstrecken blieben jedoch auch nach tagelanger Versuchsdauer ungefärbt. Ein Beweis, dass der Farbstoff nicht im Gewebe zu diffundiren und so die abgeschnittenen Gefässbündelstrecken zu imprägniren vermochte. Der Rücklauf konnte natürlich bei den angeführten Versuchen durch Einkerbungen im Knoten selbst, senkrecht ober den Unterbrechungsstellen, abgesperrt werden. Die Bahn der Farbstofflösung war nach Wegschaben der Epidermis an den Stengelrippen leicht zu verfolgen. Zwei mit einem Höhenunterschiede von mehreren Centimetern ausgeführte Einkerbungen, die zusammen den ganzen Stengelumfang umfassten, demnach alle Gefässbündel des Stengels unterbrachen, verhinderten das Aufsteigen der Farbstofflösung in den Knoten überhaupt, weshalb auch kein Rücklauf stattfinden konnte, wieder ein Beweis, dass nur die Gefässbündel die Leitung des Farbstoffes besorgten, und dass ihre Gefässwände für denselben impermeabel waren.

Impatiens Roylei. Von den mit der Wurzel ausgehobenen Exemplaren liess ich nur einzelne deutlich an der Stengelperipherie ansitzende Würzelchen in die Farbstofflösungen

tauchen. Nach einigen Stunden färbten sich nur diejenigen Gefässbündel, in welche die Wurzeln direct mündeten. Nach längerer Versuchsdauer trat auch hier Rücklauf vom Knoten herab in den Nachbargefässbündeln ein, der sich hier in Folge Anastomose sämmtlicher Gefässbündel auf alle Fibrovasalstränge des Stengels erstrecken konnte, meistens aber welkte die Pflanze schon, bevor er in allen Strängen eingetreten war.

Bei abgeschnittenen Exemplaren kamen dieselben zwei Versuchsmethoden mit den gleichen Farbstofflösungen in Anwendung. Das Resultat war auch hier, dass die Farbstofflösungen nur von den Fibrovasalsträngen aufgenommen wurden, deren Wände die Farbstoffe nicht diffundiren liessen. Es mag nur noch erwähnt werden, dass die Exemplare von *Impatiens Roylei* in der Lösung von indigschwefelsaurem Natron viel rascher schlaff wurden als in den anderen genannten Farbstofflösungen, während bei *Anthriscus silvestris* das indigschwefelsaure Natron vorzuziehen war.

Bahn der Salzlösungen in dicotylen krautigen Pflanzen.

Zur Verfolgung der Bahn der Salzlösungen in krautigen Pflanzen operirte ich mit denselben zwei Pflanzenarten, welche zum Studium der Wege des Farbstoffs gedient hatten.

Anthriscus silvestris. Bei bewurzelten Exemplaren liess ich eine an der Hauptwurzel ansitzende zarte Nebenwurzel einige Stunden in eine Chlorlithiumlösung eintauchen. Senkrecht oberhalb der Wurzeleinmündungsstelle wurde im ersten Internodium des Stengels ein mehrere Gefässbündel unterbrechender Einschnitt gemacht. Nach 3—6 Stunden wurden Stücke von den senkrecht oberhalb des Wurzelansatzes verlaufenden Gefässbündelsträngen unterhalb der Einkerbung herausgeschnitten und spectralanalytisch untersucht. Dieselben enthielten alle bereits Lithium. In den seitlich gelegenen Gefässbündeln, sowie in den ober der Einkerbung verlaufenden konnte Lithium nicht nachgewiesen werden. Nach 20—30stündiger Versuchsdauer vermochte ich indess sowohl in den seitlich gelegenen, als auch in den über der Einkerbung verlaufenden Gefässbündeln Lithium nachzuweisen.

Dieselben zwei Versuchsmethoden, welche an abgeschnittenen Exemplaren von *Anthriscus* zur Verfolgung der Bahn der Farbstofflösungen dienten, kamen bei der Untersuchung der Wege der Salzlösungen in Anwendung. Zum Aufsaugen bot ich den Pflanzen Chlorlithium, Chlorbaryum, salpetersaures Strontium und salpetersaures Calcium. Die spectralanalytische Untersuchung ergab bei Anwendung der ersten Methode nach einigen Stunden nur eine Verbreitung der Salze in dem in die Lösung tauchenden Gefässbündelstrang. Nach 1—2 Tagen konnten indess in allen Fibrovasalsträngen des Stengelumfanges jene Salze nachgewiesen werden. Diese Erscheinung war im ersten Augenblicke nicht so frappant, weil, wenn auch nur die Gefässbündel die Salze geleitet hätten, sich in Folge des bekannten Rücklaufes die Lösung in alle nicht eintauchenden Stränge hätte verbreiten können. Es enthielten jedoch nach Verlauf dieser Zeit die Nachbargefässbündel auch dann die betreffenden Salze, wenn der Rücklauf der Lösungen durch eine Einkerbung im Knoten selbst verhindert war. Standen die Pflanzen mit ihrer ganzen Stengelschnittfläche in den Salzlösungen und waren durch zwei Einkerbungen innerhalb des ersten Internodium dieselben Gefässbündelstränge unterbrochen, so zeigte die spectralanalytische Untersuchung der zwischen beiden Einkerbungen liegenden Stengelpartie nach Verlauf von nur wenigen Stunden die für die betreffenden Salze charakteristischen Linien nicht. Nach 2—3 Tagen dagegen konnte ich auch daselbst die Salze nachweisen. Waren durch zwei innerhalb eines Internodium ausgeführte Einkerbungen sämmtliche Gefässbündelstränge unterbrochen, so konnten doch nach Verlauf von 2—3 Tagen in den ober der zweiten Einkerbung gelegenen Pflanzentheilen die Salze nachgewiesen werden; der sicherste Beweis dafür, dass auch das Parenchym die Leitung der Salze besorgte.

Impatiens Roylei. Die den vorstehenden Versuchen ganz analogen Experimente an bewurzelten Exemplaren, sowie an abgeschnittenen, die nach den besprochenen zwei Versuchsmethoden präparirt in die Salzlösungen tauchten, ergaben ein vollkommen übereinstimmendes Resultat: auch in denjenigen

Stengeltheilen, nach welchen ein Transport der Salzlösungen durch die Gefässbündel künstlich ausgeschlossen war, konnten die Salze mittelst Spectralanalyse nachgewiesen werden.

Resultate.

Als Gesammtresultat der im vorstehenden beschriebenen Versuche ergibt sich Folgendes:

In den von mir untersuchten krautigen Dicotylen erwiesen sich die Gefässbündel als die ausschliesslichen Leiter der angewendeten Farbstofflösungen, und soweit die betreffende Farbflüssigkeit nicht durch Anastomosen auch in die benachbarten Fibrovasalstränge (eventuell durch Rücklauf) gelangte, blieb die Verbreitung jener Farbstoffe auch bei längerer Versuchsdauer auf die aufsaugenden Gefässbündel und auf deren Endverzweigungen beschränkt. Von einer circumscripten Wurzel- oder Querschnittstelle aus wurde also durch die benützten färbenden Substanzen nur ein bestimmtes Territorium des Gefässsystems entsprechend der Rectascension tingirt, dieselben stiegen nur in den Gefässbündeln auf, ohne in das Nachbargewebe zu diffundiren.

Im dicotylen Holzkörper stiegen die einer circumscripten Partie der Wurzel oder des Stammesquerschnittes gebotenen Farbstofflösungen stets in einem relativ schmalen Streif senkrecht (in Rectascension) entsprechend dem Faserverlaufe auf und verbreiteten sich auch bei längerer Versuchsdauer niemals in die weitere Nachbarschaft dieser Bahn, geschweige durch den ganzen Querschnitt. Für die Aufnahme der von mir angewendeten Farbstofflösungen gilt demnach der Satz, dass bestimmten Astpartien, beziehungsweise bestimmten Partien des Pflanzenkörpers überhaupt, ganz bestimmte Wurzeln entsprechen.

Ein von meinen Beobachtungen zum Theil abweichendes Verhalten aufsteigender Farbstofflösungen constatirte Goppelsroeder,[1] welcher an 36 Pflanzenarten mit 43 organischen Farbstoffen Versuche anstellte. Er liess dabei die Pflanzen

[1] Über Capillaranalyse. Mittheilungen der Section für chemische Gewerbe des k. k. Technologischen Gewerbe-Museums. Wien, 1889.

entweder mit der ganzen Wurzel oder mit der ganzen Schnittfläche in die wässerigen Lösungen tauchen. Die geprüften Farbstoffe verhielten sich in der Geschwindigkeit des Aufsteigens sehr verschieden; indigschwefelsaures Natron wurde nicht verwendet. Auch Goppelsroeder beobachtete, dass die Lösungen besonders in den Gefässen emporstiegen; doch traten manche Farbstoffe, wie die gleichzeitige Tinction des Markes, mitunter auch der Epidermis und des Parenchyms zwischen den Blattadern bewies, in das Nachbargewebe über.

Ein von jenen Farbstoffflüssigkeiten verschiedenes Verhalten zeigten die zu den Versuchen benützten Salzlösungen (im engeren Sinne), wenn man sie durch eine circumscripte Partie der Wurzel oder des Stammes, beziehungsweise des Stengels aufsteigen liess.

In den krautigen Dicotylen stiegen die Lösungen von Chlorlithium, Chlorbaryum, salpetersaurem Strontium und salpetersaurem Calcium zunächst in Rectascension durch denjenigen Stengelsector auf, dessen Gefässbündel in die Flüssigkeit tauchten. Nach längerer Versuchsdauer jedoch verbreiteten sich die Salze durch Diffusion im ganzen Umfange des Stengels und im Pflanzenkörper durchwegs. Die Salze gelangten daher nicht bloss in die Gefässbündel, sondern auch in das intravasculäre Parenchym.

Im dicotylen Holzkörper stiegen die einer beschränkten Partie der Wurzel oder des Stammquerschnittes gebotenen Lösungen von Chlorlithium zunächst in einem relativ schmalen Streif in Rectascension bis in die senkrecht überliegenden Äste und Zweige empor. Chlorbaryum und salpetersaures Strontium wurden von älteren Bäumen sehr wenig aufgesogen, während sie an jungen Eichen nach mehreren Tagen längs der ganzen Peripherie nachweisbar waren. An Zweigen mehrerer Baumarten zeigten die genannten Salze ebenso wie salpetersaures Calcium und Chlornatrium anfangs Aufsteigen im Streif, später allmälige Verbreitung im ganzen Umfange. Anfangs bestand demnach dasselbe Verhalten wie seitens der Farbstofflösungen. Nach einiger Zeit, deren Ausmass nach Art und Individuum von 8 Stunden bis zu 14 Tagen wechselte, verbreiteten sich aber jene Salzlösungen successive in das Nachbargewebe, längs des

ganzen Umfangs und in den Pflanzenkörper durchaus. Eisenchlorid verbreitete sich im gerbstoffhaltigen Gewebe von älteren Bäumen auch nach mehreren Tagen meist nur in schmalem Streif rectascendirend. Für junge Eichen galt dasselbe, wenn die Zufuhr des Salzes durch eine schwache Saugwurzel geschah; von einer stärkeren Wurzelverzweigung aus verbreitete sich aber Eisenchlorid in einiger Zeit fast im ganzen Umfange. In Zweigen stieg dasselbe anfangs in schmalem Streif von der eintauchenden Zinke auf, verbreitete sich aber dann in der ganzen Peripherie.

Die von mir angewendeten Salzlösungen zeigten demnach beim Aufsteigen im Pflanzenkörper ein anderes Verhalten, als die benützten Farbstoffe. Während diese in linearen Bahnen festgehalten wurden (permanente Rectascension), stiegen die Salze zwar anfangs im Streif empor (transitorische Rectascension), diffundirten aber nach einiger Zeit mit verschiedener Geschwindigkeit in den ganzen Pflanzenkörper. Nach den Beobachtungen von Goppelsroeder verhalten sich übrigens manche Farbstoffe ähnlich; es differiren also die als Farbstoffe bezeichneten Substanzen im allgemeinen nur graduell von den unter Salzen im engeren Sinne verstandenen Körpern.

Will man aus meinen Versuchen Schlüsse ziehen auf den Lauf der Nährstoffe im Holzkörper, so ist vor allem festzuhalten, dass die Erfahrungen mit Farbstoffen ausgeschlossen werden müssen, und dass meine Versuche mit Salzen gemacht sind, die als Nährstoffe im engeren Sinne nicht bezeichnet werden können. Es wird aber erlaubt sein, aus dem Verhalten dieser Salze auf das wirklicher Nährsalze zu schliessen. Ist dies der Fall, dann ergibt sich für die Ernährung der Pflanze vom Boden aus Folgendes: Von jeder Wurzel führt eine anatomische Bahn nach bestimmten Astpartien, beziehungsweise bestimmten Partien des Pflanzenkörpers. Dieselbe bildet den prädisponirten Weg für die aufsteigende Lösung, in ihm bewegt sich die Salzlösung in erster Linie. Die Nährsalze werden aber nicht in diesen Bahnen festgehalten, sondern gehen in den ganzen Querschnitt des Stammes, respective des Stengels über. Eine

bestimmte Astpartie, ein bestimmter Theil des Pflanzenkörpers ist in Folge dessen in seiner Ernährung keineswegs ausschliesslich auf die Function der anatomisch zugehörigen Wurzelpartie angewiesen; jeder Ast kann vielmehr seine Nahrung aus dem allen gemeinsamen Salzreservoir des Stammes schöpfen, dessen gleichmässige Füllung durch die Resorption seitens der einzelnen Wurzeln und durch die Diffusion der aufgesaugten Nährsalze bewerkstelligt wird.

Eine Art Beweis für die Richtigkeit dieser Auffassung erblicke ich in der allgemein bekannten Erfahrung, dass das Abschneiden bestimmter Wurzelpartien nicht zum Absterben der anatomisch zugehörigen Astpartien führt. Ich selbst kann eine Beobachtung hierfür beibringen. Von zwei Ahornbäumen liess ich je eine starke Wurzel durchsägen und acht Tage hindurch in eine Lösung von indigschwefelsaurem Natron tauchen. Die Bäume blieben, nachdem constatirt war, dass in beiden Fällen der Farbstoff von der Wurzel in schmalem Streif nur in einen Ast senkrecht emporgestiegen und in der ganzen Richtung des blauen Streifes die Rinde entfernt, das Holz also entblösst war, drei Monate stehen. Obwohl also die dem Aste anatomisch zugehörige Wurzel, weil frei herausragend, keine Nährstoffe aus dem Boden aufnehmen konnte und die Rinde über dem gefärbten Faserverlauf entfernt war, zeigte der Ast durchaus normales Verhalten der Blätter und ganz normales Wachsthum seiner Zweige, ein Ergebniss, welches mit der Annahme einer isolirt linearen Nährsalzzufuhr schlechterdings unvereinbar ist. Es lässt sich demnach der von Prof. Schmidt gefolgerte Schluss: »Bestimmten Astpartien entsprechen ganz bestimmte Wurzeln, aus denen sie ihre Nährstoffe auf linearem Leitungswege zugeführt erhalten«, nicht aufrecht halten.

Einem Einwande, den man etwa aus dem bekannten Experimente von Sachs[1] — derselbe gibt bei der Besprechung der Heilung der Chlorose einen Versuch an chlorotischen Kugelakazien an, bei welchem es ihm durch Zuführung von Eisenchlorid gelang, nur die über den Einlassstellen befindlichen

[1] L. c.

Äste von der Krankheit zu heilen, während die übrigen Äste chlorotisch blieben — gegen die oben entwickelte Anschauung geltend machen könnte, ist entgegenzuhalten, dass das Eisenchlorid nach meinen Beobachtungen ein ausnahmsweise geringes Diffusionsvermögen zeigt. Zur Verbreitung des Salzes im ganzen Stamme und zum consecutiven Ergrünen sämmtlicher Äste kam es vielleicht auch deshalb nicht, weil — selbst längere Versuchsdauer angenommen — doch nur eine beschränkte Menge Eisenchlorid zugeführt wurde.